

MONITOREO DE LA EFICIENCIA DE CALEFACTORES A GAS COMERCIALES: UNA ESTRATEGIA PARA PROMOVER EL AHORRO DE GAS NATURAL

L. Juanicó¹ y S. Gortari²

Laboratorio Diseños Avanzados y Evaluaciones Económicas – Centro Atómico Bariloche

¹ Conicet – ² Comisión Nacional de Energía Atómica

C.P. 8400 – Bariloche

Tel.: 02944-445100, FAX: 02944-445299, e-mail: juanico@cab.cnea.gov.ar

RESUMEN: Se midió la eficiencia térmica de seis modelos de calefactores a gas de tiro balanceado comerciales, con chimeneas horizontales (TB), calculando su valor promedio. Se determinaron eficiencias que van del 57% al 82%, empleando una nueva metodología experimental que hemos desarrollado en anteriores trabajos. Estas importantes variaciones de eficiencia se pueden correlacionar cualitativamente con el exceso de caudal de aire aspirado, en concordancia con nuestras observaciones previas. Se plantea un posible medio para lograr que los usuarios ponderen con este factor su elección ante la adquisición de un nuevo calefactor. Se estima el ahorro energético nacional que podría obtenerse si este criterio de maximización de eficiencia se generalizase en todo el país o si los fabricantes decidiesen optimizar el caudal de aire aspirado en sus nuevos modelos.

Palabras clave: Uso eficiente energía, eficiencia térmica, calefactores a gas.

INTRODUCCIÓN

Este estudio térmico sobre calefactores a gas de tiro balanceado hogareños comenzó hace cuatro años. En su primera fase, se estudió experimentalmente un modelo comercial (Emege línea patagónica) con distintas potencias de llama y de configuraciones de chimenea: tiro vertical (TBU) y tiro horizontal (TB). Se encontraron eficiencias térmicas (de calor transferido al ambiente calefaccionado respecto al calor de combustión del flujo de gas utilizado) de entre el 40% y el 60%, siendo la configuración TB la que presenta mayor eficiencia. Este comportamiento se explica por la variación observada del caudal de aire aspirado: desde 2 hasta 8 veces mayores al estequiométrico requerido por la combustión completa del gas natural. Para incluir este factor, soslayado en la normativa vigente nacional (Enargas NAG 315) de determinación de eficiencia, debimos desarrollar una nueva metodología experimental (Juanicó, 2007 y 2008a).

En la segunda fase de ese trabajo, desarrollamos prototipos de calefactores de alta eficiencia, por medio de modificaciones sencillas que pudieran ser implementadas en las cadenas productivas actuales. Los originales dispositivos creados a este fin dieron lugar a dos patentes de invención (Conicet, 2006a y b) y nos permitieron posteriormente ofrecer esta tecnología a todos los fabricantes nacionales, en una reunión auspiciada por el MinCyT (Programas Especiales) y el Conicet (Dirección de Vinculación Tecnológica) realizada en el auditorium de éste último. Los empresarios no nos plantearon entonces objeciones técnicas, pero sí nos manifestaron su opinión reluctante respecto al valor comercial que les representaría la potencial mejora de eficiencia que nuestros dispositivos les ofrecerían a sus calefactores. Las razones esgrimidas (muy atendibles por cierto), se basaban en el hecho de que ningún fabricante declara actualmente la eficiencia de sus equipos; por lo tanto, los usuarios potencialmente interesados en elegir calefactores más eficientes, no podrían comparar ventajosamente el modelo de eficiencia mejorada con otros equipos del mercado.

Gracias al apoyo que significó el Permiso YPF a la Eficiencia Energética, hemos desarrollado la tercera fase de nuestro trabajo, tendiente a superar la ausencia antes apuntada de información entre los fabricantes y los usuarios. Nuestra estrategia consiste en adquirir calefactores de varias marcas representativas del mercado, midiendo en similares condiciones de laboratorio su eficiencia. En este trabajo se presentarán el estudio de 6 modelos de calefactores en configuración TB. Se discutirán el posible ahorro energético que podría obtenerse en el futuro, si los usuarios eligieran sus calefactores siguiendo un criterio de eficiencia energética, y cómo esto podría cambiar al mercado futuro de los calefactores.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El método experimental empleado para la determinación de la eficiencia fue ampliamente desarrollado en anteriores trabajos publicados en revistas internacionales (Juanicó, 2008a, b y c), y ha merecido su presentación técnica en el auditorium Enargas en dos oportunidades. Sintetizando, lo resumiremos aquí señalando que consiste en medir (a diferencia de la norma vigente actual del Enargas, la NAG 315) los dos flujos aportados a la reacción de combustión (de aire ingresante por la chimenea y de gas natural ingresante por la línea de alimentación), junto con la temperatura de los gases calientes producidos en la combustión, los cuales son expulsados por la chimenea.

En todos los modelos de calefactores de tiro balanceado comerciales estudiados, estando el tiraje formado por dos chimeneas horizontales concéntricas (lo cual modifica el perfil aerodinámico del aire frío aspirado por la chimenea anular) fue necesario realizar un montaje especial para medir el flujo de aire aspirado. Para ello, se procedió a taponar la boca de ingreso del aire frío (empleando lana de alúmina), y se substituyó por un tubo lateral de ingreso, en forma similar a cómo fue desarrollado en nuestros trabajos previos (Juanicó et al, 2006a,b). Si bien esta modificación podría constituir una alteración relevante de las condiciones normales de operación, se verificó en todos los casos estudiados que la discrepancia en la temperatura de los

gases calientes era menor a 10C, siendo el error $< 3\%$, y por ende, aceptable para los márgenes de precisión (del 15%) de este método. Cabe recordar que anteriormente hemos demostrado en forma mucho más precisa que esta modificación no implicaba un cambio en la eficiencia térmica del calefactor, por medio de comparar la foto de termometría infrarroja de la cámara de combustión del calefactor con la chimenea original y con la modificación sugerida (Juanicó et al, 2006a,b). Este dato por si solo permite asegurar la validez del método de determinación de eficiencia sin recurrir a asumir hipótesis alguna respecto al flujo de combustión que se produce en el interior de la cámara (fenómeno por demás complejo, por otra parte), toda vez que el intercambio de calor con el ambiente calefaccionado se produce únicamente a través de la superficie externa de la cámara de combustión. Por lo tanto, si se mantiene la analogía térmica de esta superficie, basta para asegurar que la eficiencia térmica del calefactor (fijando el caudal de gas consumido por medio de la llave reguladora) será equivalente. De las mediciones antes realizadas (Juanicó et al., 2008a,c), se ha verificado que en todos los casos que un cambio en el caudal de aire aspirado tiene un correlato directo con la temperatura de los gases calientes expulsados, lo cual justifica el método de verificación aquí empleado, en lugar de la termometría infrarroja anterior.

Una mención final respecto del método de medición aquí desarrollado, merece el uso de un tubo de menor diámetro (56mm contra 75mm) (Juanicó et al, 2008a,c). La elección de este nuevo diámetro surgió como una solución simple de compromiso, entre el deseo por un lado de perturbar mínimamente el flujo y por otro de medir velocidades mayores, lo cual reduce el error absoluto en la medición aerodinámica. La medición de la velocidad de aire (sobre la sección media del tubo lateral interpuesto, de forma de asegurar el disponer de un flujo desarrollado), fue realizada por medio de un anemómetro tipo *hot film*, más resistente al aire sin filtrar (comparado con el *hot wire*, con el cual comparte las características de alta sensibilidad y baja resistencia al flujo medido) calibrado en fábrica (NIST traceable) y de alta calidad modelo Veloport 2.0 mostrado en la Figura 1, con error del $\pm 3\%$ y con resolución de 0.01 m/s, en la determinación de la velocidad del flujo de aire. Este anemómetro es apreciablemente más exacto y más sensible respecto del *thermobeard* antes empleado. (Juanicó et al, 2006a,b; 2008a,c).

Se midieron con la metodología antes indicada un total de 6 calefactores: dos marca Emege (modelo Patagónico de 3000 kcal/h y modelo Euro de 1,900 kcal/h), marca Orbis modelo Calorama de 2,500 kcal/h, marca Coppens de 2500 kcal/h, marca Volcán de 2000 kcal/h y marca Westinghouse 1900 kcal/h, todos ellos siendo modelos comerciales de amplia difusión en el mercado nacional.



Figura 1. Anemómetro y sonda *hot film*.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En la Tabla I se vuelca el resumen de las mediciones realizadas en cada uno de los calefactores estudiados, donde Q_a representa el flujo de aire aspirado, medido sobre la sección lateral (de PVC, de 56mm de diámetro). La temperatura de los gases calientes se mide sobre la chimenea original de salida de gases, inmediatamente luego de salir de la cámara de combustión. Para esta medición se emplea una termocupla tipo K comercial especialmente diseñada para gases calientes (se trata de una pequeña juntura bimetalica desnuda montada sobre un soporte cerámico de baja conductividad para evitar pérdidas de calor hacia el soporte), la cual fue calibrada en un horno calibrador de termocuplas. Esta termocupla se introduce inclinada hacia adelante por un orificio lateral (de diámetro ajustado al del sensor) realizado 10cm aguas abajo del ingreso de los gases a la chimenea.

Tabla I. Resumen de mediciones efectuadas.

Modelo	Llama	Q _{aire} (l/min)	T _{gases} (°C)	Potencia (kW)
Emege Patagónico	Max	115	480	3.7
	Min	93	287	1.5
Emege Euro	Max	62	393	2.3
	Min	59	372	2.0
Orbis	Max	74	306	2.9
	Min	68	171	1.1
Coppens	Max	81	464	3.1
	Min	74	189	0.7
Volcán	Max	68	307	2.6
	Min	68	256	1.6
Westinghouse	Max	97	340	2.7
	Min	79	252	1.5

Sobre estos resultados y aplicando la metodología de laboratorio antes desarrollada, se calcularon las eficiencias térmicas resumidas en la Tabla II. Se calcularon además la relación entre el caudal medido y el caudal que se establecería según la relación estequiométrica de gases (definida entre el metano, que representa más del 98% del gas natural, y el oxígeno) determinada por la reacción de combustión completa del gas, denotado como RE.

De aquí, es posible señalar algunas diferencias y analogías entre los distintos modelos estudiados. Se observa una eficiencia mayor a llama máxima que a llama mínima. Este comportamiento fue observado sobre todos los calefactores estudiados, y es explicable por el régimen de convección natural que se establece en el tiraje, como fue demostrado en nuestros trabajos previos (Juanicó et al, 2006a,b y 2008a,c). Siendo que se debe dimensionar la chimenea para que pueda proveer el caudal de aire necesario para lograr la combustión completa en la condición más exigida (máximo caudal, es decir, para llama máxima), ésta quedará irremediablemente sobredimensionada cuando el calefactor opere en una condición de menor caudal, como es el caso de llama mínima. Como observamos en nuestro estudio previo (Juanicó, 2008a,b,c), este fenómeno se amplifica en el caso de chimeneas de gran altura (en configuración TBU) verticales, dando origen a significativas pérdidas de eficiencia.

Siguiendo con la influencia del exceso de flujo de aire aspirado sobre la eficiencia, es interesante notar que el modelo que muestra el peor desempeño por mucho (Coppens en llama mínima) es también el que presenta el mayor exceso de aire, y del mismo modo, cuando mejora su relación de aire RE (para llama máxima), su eficiencia mejora ostensiblemente (del 57% al 73%). Aunque en menor medida, en todos los restantes casos se verifica la relación (inversa) entre exceso de flujo de aire y eficiencia térmica, pudiendo observarse un acuerdo cualitativo entre ambos factores. Un acuerdo cuantitativo no es posible, siendo que la eficiencia engloba muchos otros factores que hacen a la transferencia de calor desde la pared de la cámara de combustión hacia el ambiente. Por ejemplo, en el modelo Emege Patagónico (a diferencia de otras marcas) se ha observado que las “persianas frontales” del gabinete exterior presentan una orientación opuesta a la que favorecería el flujo de aire caliente ascendente por convección natural. Como hemos demostrado en nuestro prototipo de calefactor construido a partir justamente de un calefactor comercial de este modelo, el cambiar estas persianas por otras de menor interferencia aerodinámica, redundaría en apreciables mejoras de eficiencia (Juanicó et al, 2006b y 2008c).

Podemos concluir de lo anterior, que una interesante dimensión de mejora de equipos asequible a los fabricantes consistiría en aproximar (dentro de ciertos márgenes de seguridad) la relación (RE) de caudales a un valor levemente superior a la unidad. Este punto por supuesto que implicaría estudios a futuro mucho más detallados, sobre el modelo que se deseara implementar.

Respecto del punto anterior, cabe mencionar que la norma de medición de eficiencia vigente, establecida por Enargas (la NAG 315 de 1995) no considera en absoluto este factor (exceso de aire frío ingresado a la cámara de combustión). Esto se debe a que en realidad esta norma (con solamente el cambio de nombre) es en realidad una muy antigua norma heredada de Gas del Estado (de 1974), basada en una norma internacional ya obsoleta (British Standard 1250, de 1969). Esta norma internacional fue convenientemente modificada por la British Standard 6332 (en 1984), la cual sí contempla el posible exceso de aire, para determinar la eficiencia del equipo. Para estimar el exceso de flujo de aire ingresante a la cámara de combustión la BS 6332 no utiliza un método “aerodinámico” como el seguido aquí, sino que en cambio sigue un método “químico típico de combustión”, midiendo la proporción de distintos tipos de gases calientes sobre la chimenea de salida, y de allí infiere la relación de exceso de aire preexistente en el ingreso. Cabe mencionar, por último, que la NAG 315 se encuentra en revisión actualmente, y que habiendo participado de este proceso, podemos adelantar que la nueva norma (que se espera sea oficialmente presentada en pocos meses) solucionará el problema anterior.

Tabla II. Eficiencias calculadas en cada modelo.

Modelo	Llama	Relación Estequiométrica	Eficiencia calefactor
Emege Patagónico	Max	1.9	63 %
	Min	3.6	61 %
Emege Euro	Max	1.6	74 %
	Min	1.8	73 %
Orbis Calorama	Max	1.55	82 %
	Min	3.9	78 %
Coppens	Max	1.45	73 %
	Min	6.4	57 %
Volcán	Max	1.6	81 %
	Min	2.6	75 %
Westinghouse	Max	2.1	72 %
	Min	3.1	71 %
Promedio	Max	----	73.8 %
	Min	----	68.3 %
Rango de variación	Max	----	63 a 82 %
	Min	----	57 a 78 %

En la Argentina hay 7,3 millones de usuarios residenciales conectados a la red de gas natural, y de ellos el 80% utiliza calefactores de tiro balanceado (Dr. Salvador Gil), con un consumo combinado (durante el pico invernal) diario de 60 millones de m³ de gas. Considerando la eficiencia promedio que hemos antes calculado entre todos los modelos estudiados (73,8%) y asumiendo (a primera instancia) que esta muestra es representativa del universo de calefactores instalados en nuestro país, podemos estimar cual sería el ahorro obtenible si se sustituyesen todos los calefactores instalados por el modelo comercial de mayor eficiencia observado (Orbis, con el 82%). Siendo la mejora en eficiencia promedio del 11%, se obtendrían por este medio un ahorro global de 7 millones de m³ diarios. Para ilustrar la magnitud e impacto que este ahorro produciría, consideremos que todo el volumen de gas importado actualmente por Argentina desde Bolivia asciende a 6 millones de m³ diarios, y todo el consumo nacional de transporte en GNC ronda los 9 millones de m³ diarios.

CONCLUSIONES

Se monitorea la eficiencia térmica de calefactores a gas de tiro balanceados, de las marcas más difundidas en Argentina. Se observaron dispersiones importantes entre los distintos modelos y marcas, con eficiencias que van del 57% al 82%. El valor promedio entre todas las marcas estudiadas fue de 73.8% para la condición de llama máxima y de 68.3% para llama mínima. Se observó una correlación cualitativa entre el exceso de flujo de aire frío aspirado por chimenea (respecto del caudal mínimo requerido para asegurar la combustión completa del gas natural) y el peor desempeño del calefactor (léase, menor eficiencia térmica). Este resultado ratifica nuestros anteriores estudios realizados sobre un mismo calefactor pero con diferentes alturas y tipos de chimeneas (desde TB hasta TBU de 5m de altura).

Siendo que al presente el usuario no puede ponderar por este criterio (de eficiencia) su elección de un nuevo equipo por falta de información desde los fabricantes, es posible proyectar una interesante estrategia de ahorro comunitario de gas a partir de la difusión universal de estos resultados. Se estimó el ahorro potencial que podría alcanzarse si los usuarios (y quizás también los fabricantes a partir de las acciones de éstos) eligiesen y/o fabricasen equipos de la mayor eficiencia medida. Este ahorro podría ser significativo en la matriz energética nacional, alcanzando los 7 Mm³/día. Este valor alcanzaría para cubrir casi todo el consumo nacional del transporte a GNC, solucionando por ejemplo los actuales problemas de oferta de taxis en Buenos Aires durante los picos de consumo invernal.

De los resultados obtenidos en este trabajo y en anteriores de los mismos autores, en los que por ejemplo se demostró la posibilidad de modificar un calefactor comercial para aumentar apreciablemente su eficiencia, se presenta un nuevo campo de estudio en cuanto a la optimización de la eficiencia de los calefactores. El invitar a colegas investigadores a sumarse a esta temática de estudio, es el interés que motiva la presentación de este trabajo.

REFERENCIAS

- Andrés, E. et al. 2006. Comparación de la influencia de distintos equipos de calefacción en la contaminación interior por óxido de nitrógeno. Conclusiones finales. Energías Renovables y Medio Ambiente 17, 61-66.
- Conicet. 2006a. Intercambiador de calor aire-gas de combustión con dispositivo forzador múltiple incorporado. Patente de invención P060104630.
- Conicet. 2006b. Intercambiador de calor aire-gas de combustión con dispositivo forzador múltiple incorporado". Patente de invención P060105085, con reserva de reválida internacional.
- Juanicó, L., González, A., Gortari, S. 2006a. Eficiencia térmica de calefactores a gas de tiro balanceado. Avances en Energías Renovables y Ambiente, vol.10, 7-17.

- Juanicó, L., González, A., Gortari, S. 2006b. Mejora en la Eficiencia de calefactores a gas de tiro balanceado. Avances en Energías Renovables y Ambiente, vol.10, 7-25.
- Juanicó, L. 2007. Eficiencia de Calefactores a gas de Tiro Balanceado: Medición e Impacto en usuarios residenciales. Revista Interciencia, vol. 32 N°12, pp.854-856.
- Juanicó, L. y González, A. 2008a. Thermal Efficiency of natural gas balanced-flue space heaters: Measurements for commercial devices. Energy and Buildings vol. 40, 067-1073.
- Juanicó, L. y González, A. 2008b. High-efficiency prototypes of commercial gas heaters extensively used in Argentina. International Journal of Hydrogen Energy, vol. 33, 3471-3474.
- Juanicó, L. y González, A. 2008c. Savings on natural gas consumption by doubling thermal efficiencies of balanced-flue space heaters. Energy and Buildings, vol. 40, 1479-1486.
- Salvador Gil, profesional del Enargas. Conversación privada y datos suministrados por el mismo.

Agradecimientos

A la Fundación YPF y a la Universidad Nacional de Cuyo por el apoyo económico brindados, que nos han permitido reequipar nuestro laboratorio (destruido completamente en un incendio en el 2008) y desarrollar este trabajo. A los técnicos gasistas del grupo Obras del Centro Atómico Bariloche, por su permanente apoyo y colaboración brindados mediante el asesoramiento e instalación de todos los calefactores estudiados.

ABSTRACT: The thermal efficiency of six commercial models of household flue-draft gas space heaters was determined, being all of these heaters built with horizontal flue-draft chimneys. So, efficiencies ranging from 57% to 82% were determined by means of a new experimental procedure and by using a new methodology previously developed for authors for this kind of heaters. A qualitative good correlation could be observed between the excess of intake air flow and the thermal efficiency performed; higher the excess of intake air is, lower the efficiency is. Regarding present lack of information from manufacturers to end-users about their equipment efficiency, it is proposed here a new strategy intended for achieving a generalized domestic gas savings. The national energy saving that could be achieved by this way is extrapolated showing that noticeable gas savings of pipeline could be achieved.

Keywords: Efficient use of energy, thermal efficiency, individual gas space heaters.